

# [81] 各種繊維補強コンクリートの比較試験

正会員 三瀬 貞 (大阪市立大学工学部)

正会員 真嶋 光保 (大阪市立大学工学部)

宮武 英治 (大阪市立大学工学部)

## 1. まえがき

コンクリートは、土木材料の1つとして広く利用されているが、脆性的であり、引張に弱く、また、ひびわれを生じやすいという欠点を有している。このような欠点を補う方法の1つとして、従来の材料を組み合わせ、お互いの長所を生かすという複合材料としての考え方が

ある。この考えに基づき、セメントコンクリートでは、鋼やガラスなどの短繊維を混入し補強する繊維補強コンクリートを考えることができる。繊維補強コンクリートは従来のコンクリートに比べ、引張強度、曲げ強度、および破壊に至る靱性などにおいて優れた特性を有している。補強用として用いられる繊維には鋼、ガラス、炭素、高分子などがあるが、本研究ではこれら4種類の繊維を用い、繊維の種類および混入率を変化させ

その他の配合や養生などをすべて同じ条件にすることにより、繊維の種類の違いによるそれぞれの繊維補強コンクリートの力学的特性を明らかにし、その差を明確にすることを目的とする。なお、高分子としてはビニロンを用いる。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験計画

実験計画を表-1に示す。繊維の種類は、種々の繊維補強コンクリートの力学的特性を比較するため、繊維混入率は、混入率によるその

効果を調べるためである。繊維混入率とは、母材容積に対する外割りによる容積パーセントである。力学試験は、曲げおよび直接引張を行なう。

### 2.2 使用材料

セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。細骨材は海砂、粗骨材は砕石を使用し、その物理的性質を表-2に示す。さらに各種繊維の物理的性質を表-3に示す。ガラス繊維は耐アルカリ性のチョップドストランドであり、鋼繊維は波形のもの、炭素繊維は低弾性タイプ、ビニロン繊維はハードタイプのものである。また、混和剤としては、流動化を目的とした高性能減水剤を使用し、セメント重量1kgに対し、2.5ccの割合で混合した。

### 2.3 配合および供試体

本研究では、繊維の種類の違いによる力学的特性の差を明らかにするという目的であるため、繊維補強コンクリートとしてのマトリックスコンクリートの配合は一定にする必要がある。そ

表-1 実験計画

| 要因    | 水準                      |
|-------|-------------------------|
| 繊維の種類 | ガラス、鋼、炭素、ビニロン           |
| 繊維混入率 | 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 |

表-2 骨材の物理的性質

|     | 比重   | 吸水率 (%) | 粗粒率  |
|-----|------|---------|------|
| 細骨材 | 2.56 | 2.32    | 2.67 |
| 粗骨材 | 2.66 | 1.48    | 5.92 |

表-3 繊維の物理的性質

| 種別   | 寸法形状                | 比重   | 引張強度 (MPa) | 弾性係数 (GPa) |
|------|---------------------|------|------------|------------|
| ガラス  | φ13.5 μm × 2.5 mm   | 2.67 | 1200~1600  | 78.4       |
| 鋼    | 0.25 × 0.5 × 2.5 mm | 8.00 | 640        | 200        |
| 炭素   | φ18 μm × 10 mm      | 1.75 | 590        | 29.4       |
| ビニロン | φ14 μm × 2.4 mm     | 1.34 | 1440       | 29.4       |

表-4 配合

| 粗骨材の最大寸法 (mm) | 空気量 (%) | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量 kg/m <sup>3</sup> |      |      |      | 混和材 cc/m <sup>3</sup> |
|---------------|---------|------------|----------|-----------------------|------|------|------|-----------------------|
|               |         |            |          | 水                     | セメント | 細骨材  | 粗骨材  |                       |
| 15            | 2.0     | 5.3        | 5.0      | 227                   | 428  | 78.9 | 92.0 | 107.0                 |

表-5 供試体の寸法

| 試験種別     | 寸法 (mm)         |
|----------|-----------------|
| 靱性曲げ載荷試験 | 100 × 100 × 400 |
| 直接引張試験   | 100 × 100 × 550 |

の配合を表-4に示す。供試体は3本で1組とし、その寸法を表-5に示す。

**2.4 打設および養生** 混合は、重力式に比べ、繊維を切揃、屈曲することなく均一に分散練り混ぜができる拡散混合ミキサを用いて行なった。材料の投入順は、粗骨材、細骨材、セメントの順とし、ここで1分間、空練りした後、所定の水を入れ、2分間混合した。繊維を投入した後、さらに1分間混合して、鋼製練り板上に出し、スコップを用いて練り直しをした。その後、フレッシュコンクリートの性質として、スランプ値、V.B.値および空気量を測定した。締め固めは、振動台あるいは、外部振動機を用いて行なった。打設後ただちに恒温室に入れ、約24時間後脱型しさらに水温20±3℃の水中で6日間水中養生した。養生後水中から取り出し、表面水をぬぐい、供試体の密度を測定した後、力学試験を行なった。

### 3. フレッシュコンクリートおよび密度について

練り混ぜ直後に測定したスランプ値、V.B.値、空気量と繊維の種類および繊維混入率の関係をそれぞれ図-1、図-2、図-3に示す。これらの図から明らかなように、コンシステンシーに関するスランプ値およびV.B.値は、繊維混入率と繊維の種類に明らかな相関関係がある。すなわち繊維混入率が大きくなるにつれてスランプ値は小さくなり、V.B.値は大きくなる。さらに繊維の種類について言えることは、スランプに与える影響が最も小さいのが鋼繊維であり、次いで炭素繊維、ガラス繊維、ビニロン繊維の順である。V.B.値についてもこの順に対応している。図1をみると、ビニロン繊維を混入した場合とガラス繊維を混入した場合、スランプ値に差はあまりみられないが、図-2をみると、ビニロン繊維を混入した場合の方が流動性が悪いことがわかる。一方、空気量についても、繊維混入率が大きくなるにしたがって大きくなる傾向がある。この傾向は、ガラス繊維補強コンクリートに関する既往の研究で得られた、繊維混入率と空気量の間には、相関関係がないという結果とは異なっている。繊維混入率が増加すると空気量が増えるのは、繊維が空気をまき込むためと思われる。図-4に密度について示すが、これはそれぞれの繊維の比重の影響を受けている。

### 4. 剛性曲げ載荷試験

**4.1 実験方法** 一般に普通コンクリートの曲げ載荷試験時、下縁部にひびわれが生じるとそれが急激に全断面へと進行し、ただちに耐力を失ない破壊に至る。しかし繊維補強コンクリートは、下縁部にひびわれが生じても耐力が急激には低下せず、ひびわれの進行とともに徐々に低下する。したがって繊維補強コンクリートの曲げ挙動においては、靱性を特徴としてとらえることができる。このためには最大耐力以降についても荷重-たわみ関係を知る必要があり、剛性曲げ載荷試験を行なうこととした。その試験装置を図-5に示す。この装置は供試体のひびわれ後の急激な剛性低下をP.G鋼棒により抑制し、靱性特性を把握しようとするものである。靱性特性は、曲げ荷重-たわみ曲線の面積を計算することにより数量化され、タフネスなどの指標

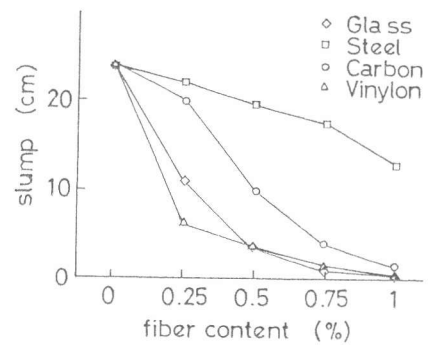


図-1 スランプ値

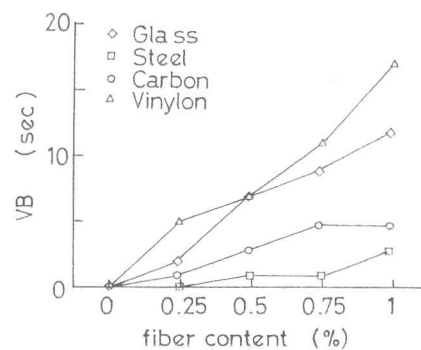


図-2 V. B. 値

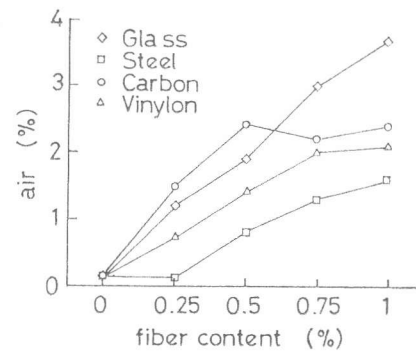


図-3 空気量

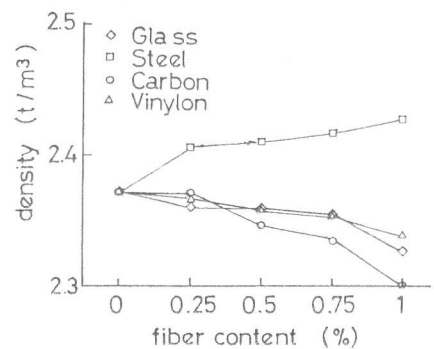


図-4 密度

で表わせる。本実験ではタフネスを後述する曲げ靱性係数で表わすことにした。また、荷重-たわみ曲線を求めるため、荷重の測定にはロードセルを、たわみの測定には変位計を用いた。

**4.2 実験結果および考察** 本実験で得られた曲げ強度と繊維の種類および繊維混入率の関係を図-6に示す。この図から明らかなように繊維混入率が増加すると曲げ強度も増加する傾向がある。繊維混入率1%と、無混入の場合とを比較すると、鋼繊維混入の場合で約60%、ガラス繊維混入の場合で約50%の強度増加を示している。ビニロン繊維、あるいは炭素繊維を混入した場合、ともに約20%の強度増加にとどまっており、混入率が0.25%から1%まで増加しても強度の増加はみられない。次に、曲げ靱性係数は図-7に示すような荷重-たわみ曲線の面積から計算によって求めることができる。図-7はビニロン繊維を1%混入した場合のものである。曲げ靱性係数と繊維の種類および繊維混入率の関係を図-8に示す。ガラス繊維を混入した場合とビニロン繊維を混入した場合を比べると、曲げ強度はガラス繊維を混入した場合の方が大きい。これはガラス繊維の方がビニロン繊維よりも弾性係数が大きいので、繊維による荷重伝達能力が優れているためであると考えられる。一方、曲げ靱性係数はビニロン繊維を混入した場合の方が大きい。これは、破壊時の破断も含めた繊維の引き抜け抵抗性がビニロン繊維の方が優れているためと考えられる。そして鋼繊維を混入した場合の曲げ強度が最も大きくなるのは、鋼繊維の弾性係数が4種の繊維の中で最も大きいためであり、また、曲げ靱性係数が最も大きくなるのは、鋼繊維の形状が波形なので引き抜け抵抗性が特に優れており、ひびわれの進展を拘束する能力が高いためであると思われる。

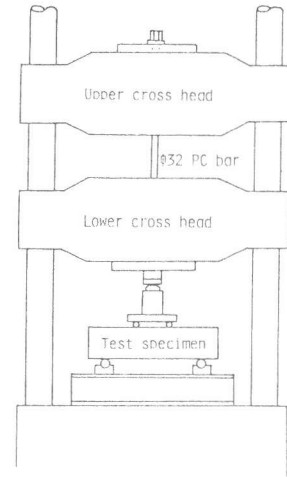


図-5 剛性曲げ荷試験装置

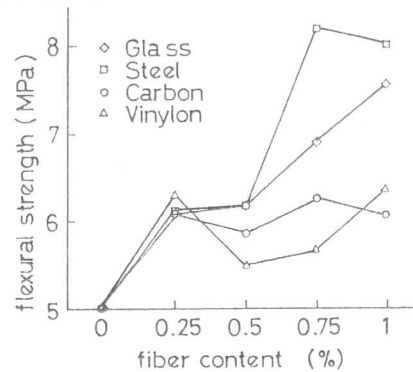


図-6 曲げ強度

**5. 直接引張試験**

**5.1 実験方法** 引張荷重時の引張応力-ひずみ関係を求めるために、供試体の相対する2面でひずみを測定した。測定は荷重0.2t毎としたが、引張弾性係数を求めるため、0.2tと2tの荷重の間を1回繰り返し荷重した後、破壊に至るまで荷重し、直接引張強度を求めた。引張弾性係数は、繰り返し荷重点間の割線弾性係数として求めた。図-9に直接引張試験装置を示す。

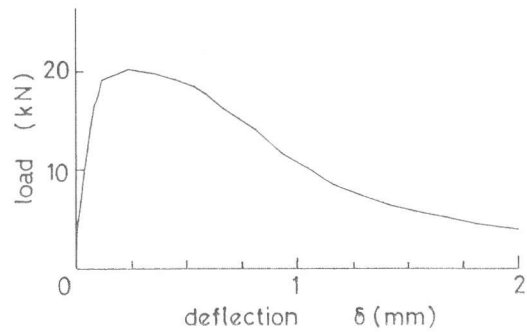


図-7 荷重-たわみ曲線

**5.2 実験結果および考察** 本実験で得られた直接引張強度と繊維の種類および繊維混入率の関係を図-10に示す。図-10から明らかなように補強効果は顕著には現われず、鋼繊維補強コンクリートについてのみ、わずかな補強効果がみられる程度であり、ガラス繊維補強コンクリートについてはほとんど一定である。これは繊維のポアソン比の大きさによる影響が表れたものと考えられる。すなわち、ポアソン比が大きいと引張によって繊維の断面積の減少が大きいため、コンクリートと繊維の付着力が低下したためと考えられる。ビニロン繊維補強コンクリートおよび炭素繊維補強コンクリートについては、直接

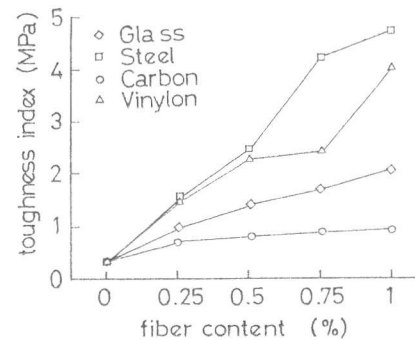


図-8 曲げ靱性係数

引張強度はかなり低下し、混入率1%の場合、無混入の場合に比べ約15%の強度低下を示している。これは、ビニロン繊維、炭素繊維自体の弾性係数が、繊維無混入のコンクリートの弾性係数よりも小さいため、脆性的に破壊する直接引張においてはひびわれ発生後の挙動に対し、繊維が十分な伸びを示さなかったためと考えられる。引張応力-ひずみ関係の一例を図-11に示す。図-11はビニロン繊維を1%混入した場合のものであり、相対する2面における測定値と、その平均を示している。この図によると、終局ひずみは平均で140マイクロに達しており、繊維の混入によって終局ひずみは増大する傾向がある。すべての繊維混入の場合についての終局ひずみを表-6に示す。この表からわかるようにすべての場合について終局ひずみは、わずかではあるが増加する。次に引張弾性係数を図-12に示す。この図からわかるように、繊維混入率の増加によって引張弾性係数は低下し、その度合いは繊維自体の弾性係数の影響を受けていることは明らかである。

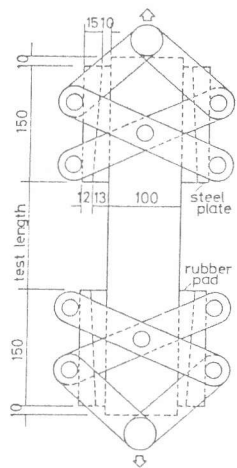


図-9 引張試験装置

### 6. 結論

- (1) 曲げ試験で得られた4種の繊維補強コンクリートの繊維混入率の増加による補強効果の大きさは、鋼、ガラス、ビニロン、炭素の順であり、これは繊維自体の弾性係数の順でもある。
- (2) ビニロン繊維あるいはガラス繊維を1%混入した場合、スランプがほぼ0となり、ワーカビリティが非常に悪いのに比べ、鋼繊維を1%混入してもワーカビリティがよく、1%以上の混入も可能である。
- (3) ビニロン繊維補強コンクリートは、繊維混入率の増加による曲げ強度の増加は小さいが、曲げ靱性係数は著しく増大する。

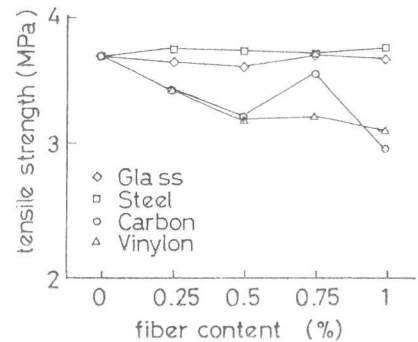


図-10 直接引張強度

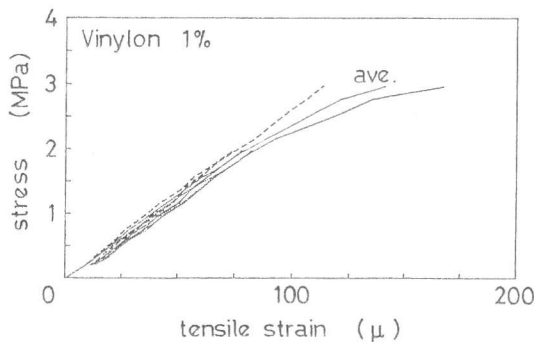


図-11 引張応力-ひずみ関係

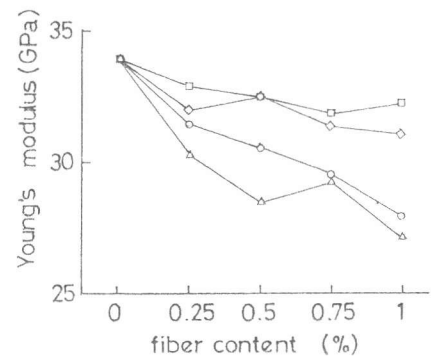


図-12 引張弾性係数

表-6 終局ひずみ

| 繊維   | 0   | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 0.0 |
|------|-----|------|-----|------|-----|
| ガラス  |     | 110  | 120 | 130  | 130 |
| 鋼    | 100 | 120  | 120 | 130  | 130 |
| 炭素   |     | 110  | 110 | 130  | 120 |
| ビニロン |     | 120  | 120 | 120  | 140 |

※単位 (μ)